

KAROL WEIS, DANIEL KUBINSKÝ

## ANALÝZA ZMIEN OBJEMU HALČIANSKEJ VODNEJ NÁDRŽE VPLYVOM ERÓZIE AKO PODKLAD PRE MANAŽMENT V POVODÍ

**WEIS, K., KUBINSKÝ D. (2014): Analysis of changes in the volume of water in the Halčianske reservoir caused by erosion as a basis for watershed management. *Geografie*, 119, No. 2, pp. 126–144.** – The paper deals with changes in water volumes contained in the Halčiansky water reservoir as a result of sedimentation and aggradation of bed loads and wash loads to the area of a water reservoir by the influence of erosive activity of tributaries in the watershed. The results of a comparison of two 3D models, one for the year 1908, created from historic documentation, and the other for year 2010, created from collection of data in the field, have shown a reduction in the volume of water totaling 35,874 m<sup>3</sup>, which represents the volume of sediments accumulated over the period of 102 years. Modern surveying technology and numerical modeling of the selected watershed surface area have been used for the determination of the changes in water volume. Analysis of secondary landscape structures, slope and empirical knowledge were performed in basin areas prone to erosion, in order to further the understanding of factors contributing to the erosion of the material. Water management, forestry, agriculture and population level, build-up of the area have all been identified as contributing elements, alongside other factors.

**KEY WORDS:** bathymetric surveys – numerical modelling – reservoirs – ultrasonic measurements – volume change – watershed management.

### 1. Úvod

Nástroje 3D modelovania povrchu reliéfu sa v poslednom čase dostávajú do popredia pri riešení viacerých environmentálnych problémov. Jednou z možností využitia modelovania je analýza zmien reliéfu dna, zásobného objemu a plochy historických umelých vodných nádrží za určité časové obdobie. Tieto zmeny sú obyčajne podmienené viacerými faktormi, hlavne však zanášaním a sedimentáciou, ktorá ohrozuje priamo ich existenciu. Spôsobuje stratu ich zásobnej kapacity, poškodzuje výpustné zariadenia a v nemalej miere zhoršuje kvalitu vody, ekologické vlastnosti a biologickú rovnováhu. Aby bolo možné predĺžiť životnosť vodných nádrží, dlhodobo udržať ich retenčnú schopnosť, poznať rýchlosť sedimentácie a zachovať kvalitu vody, je potrebné poznať ich pôvodné a zamerať aktuálne batymetrické údaje, rovnako ako poznať príčiny prebiehajúcich zmien. Významné zmeny v spôsobe využívania a v účele týchto vodných nádrží za posledné desaťročia musia vyústiť v radikálnu zmenu prístupu k ich údržbe i prevádzkovaniu a to predovšetkým zmenou riadenia a manažmentových opatrení správcu. To platí nielen pre zásahy v telese vodnej nádrže, ale pre manažment vodohospodárskych zásahov v celom povodí.

Určenie množstva sedimentov a pravidelná aktualizácia údajov o zásobnom objeme vodnej nádrže umožňujú zrealizovanie prognóz zanášania a vytvorenie relevantných predpokladov pre návrh efektívnych ochranných opatrení v povodí, vedúcich k minimalizácii negatívnych dôsledkov. Z tohto dôvodu by mali byť pravidelne aktualizované batymetrické mapy a modely (Hollister, Milstead 2010). Následnou realizáciou účinných opatrení dosiahneme zmiernenie negatívnych dôsledkov a zníženie nákladov na prevádzku a údržbu nádrží.

Analýze najčastejších a najzávažnejších negatívnych dôsledkov spôsobených práve rastom akumulovaných sedimentov a postupnou degradáciou vodného ekosystému sa venovalo viacero autorov (Gellis a kol. 2006; Ahmed, Sanchez 2011; Pradhan a kol. 2011; Ristić a kol. 2013). Dynamike zosuvov v nekompaktných horninách v súvislosti so vznikom hradených jazier sa venujú ďalší autori (Smolková, Pánek, Hradecký 2009). Transport dnových sedimentov a zmeny morfológie dna v podmienkach vysokogradientových tokov na Morave analyzujú napr. (Galia, Hradecký 2010, 2011; Škarpich a kol. 2010). Viaceré štúdie zamerané pre determinovanie zmien objemu vodných nádrží na Slovensku a v zahraničí využívali akustické zariadenia (Pauk, Miklós, Tremboš 1997; Kočický a kol. 2002; Childs, Snyder, Hampton 2003; Odhiambo, Boss 2004; Jordan, Fonstad 2005; Kress a kol. 2005; Dost, Mannaerts 2008; Choiński, Ptak 2009; Elçi, Bor, Çalişkan 2009; Fуска, Leitmanová 2012; Ceylan, Karabork, Ekozoglu 2011; Yun, Cho 2011; Yesuf a kol. 2012; Kubinský, Lehotský, Weis 2014). Prakticky zhodnú metodiku, až na niektoré postupy softvérového spracovania údajov použili Česák, Šobr (2005). Dynamiku vývoja dnových sedimentov vo vzťahu k rôznym faktorom a predispozíciám v povodí, vrátane určenia absolútnej chronológie sedimentov analyzovali Janský a kol. (2010). Na Slovensku sa problematike dlhoročne venuje Výskumný ústav vodného hospodárstva (ďalej VÚVH).

Cieľom štúdie bolo získať aktuálne batymetrické údaje Halčianskej vodnej nádrže použitím moderných geodetických technológií, identifikovať príčiny zanášania vodnej nádrže a navrhnúť také opatrenia v povodí, ktoré by eliminovali negatívny vývoj a stabilizovali miestny ekosystém. V optimálnom prípade by viedli k jeho postupnej revitalizácii. Halčianska vodná nádrž spolu s ďalšími nádržami v okolí mesta Banská Štiavnica patrí pod správu Slovenského vodohospodárskeho podniku, š. p. Banská Štiavnica a je súčasťou Zoznamu chránených objektov prírodného a kultúrneho dedičstva UNESCO. Využitie GPS zariadení, sonaru a technológií GIS a 3D numerického a grafického modelovania pomohlo identifikovať stav nádrže v roku 1908 z historickej mapovej dokumentácie a presne zamerať aktuálny stav terénnym výskumom. Na základe ich komparácie bolo možné určiť objem sedimentov a ich priestorovú distribúciu v nádrži za obdobie 102 rokov (1908 – 2010). Intenzita erózie v prislúchajúcom mikropovodí je podmienená viacerými faktormi, hlavné z nich sú v práci ďalej špecifikované a analyzované. Nadmorské výšky v m n. m. sú uvádzané vo výškovom systéme „Balt po vyrovnaní“ (Bpv). Charakteristika a petrografické zloženie sedimentov v práci nebolo ďalej špecifikované.

## 2. Študované územie

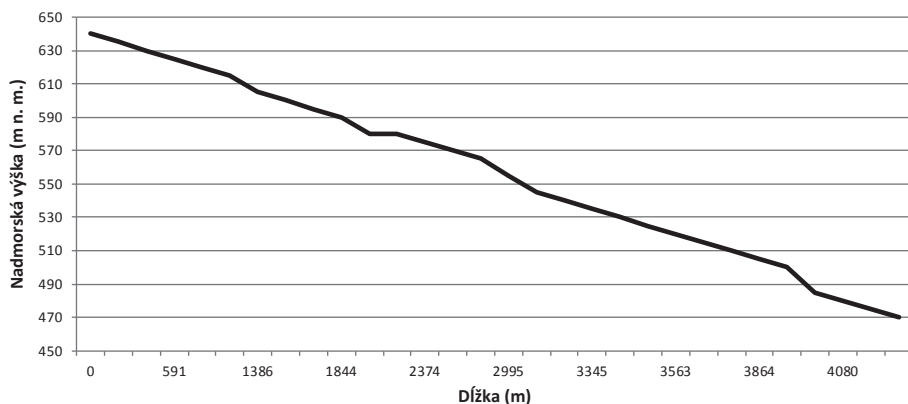
Záujmové územie tvorí Halčianska vodná nádrž v katastri obce Banská Belá, vzdialenej 5 km od Banskej Štiavnice a jej vlastné mikropovodie (obr. 1). Mikropovodie končí profilom hrádze vodnej nádrže a zaberá plochu takmer 912,69 ha, ohraničené je orografickou rozvodnicou s celkovou dĺžkou 12 957 m. Najnižšia kóta územia je niveleta dnového výpustu vodnej nádrže (462,38 m n. m.), najvyššia kóta je vrch Strela (840,2 m n. m.). Vznik Halčianskej vodnej nádrže je datovaný v druhej polovici 18. storočia, kedy vznikla prehradením potoka prichádzajúceho z osady Halča sypanou zemnou hrádzou. Spolu s Belianskou a Goldfusskou vodnou nádržou slúžili na pohon stúp a hutníckych zariadení nižšie, pod obcou Banská Belá a v Kozelníckej doline (Hydroconsult 1991). V tomto území predstavuje hustota riečnej siete hodnotu 1,845 km tokov na km<sup>2</sup> plochy. Lesnatosť povodia je 73,50 %. Riečna sieť v modelovom území je symetrická, stromovitá (dendritická). Tento typ riečnej siete je charakteristický pre oblasť tvorenú z približne rovnako odolných hornín. Hierarchia tokov v sieti je vyvážená. Dĺžka hlavného toku je 4 240 m. Koeficient vývoja toku je 1,28. Spádová krivka Halčianskeho potoka po teleso vodnej nádrže je znázornená na obrázku 2.

## 3. Metodika

Terénny výskum na Halčianskej vodnej nádrži bol realizovaný 17. 12. 2010. Aktuálne batymetrické údaje sme získali zameraním hĺbky priamo z plavidla akustickým zariadením Humminbird 717 (dvojlúčová sonda, lúč 20° alebo 60°, udávaná presnosť  $\pm 10$  cm) prepojeného so zariadením GPS (externá 50-kanálová anténa, udávaná polohová presnosť  $\pm 100$  cm). Ultrazvukové zariadenie používa dve vlnové frekvencie, 200 kHz a 83 kHz. Meracia zostava bola umiestnená na nosníku pripevnenom k člnu, ktorý bol poháňaný elektromotorom. Meranie hĺbok bolo vykonávané v intervale 7 – 10 m medzi zameriavanými



Obr. 1 – Poloha Halčianskej vodnej nádrže na Slovensku



Obr. 2 – Spádová krivka Halčianskeho potoka

bodmi. Merania na vybraných profiloch boli uskutočnené 2-krát, aby sa overila opakovateľnosť merania. Kontrolné merania preukázali dobrú zhodu s pôvodnými meraniami. Ultrazvukový senzor sa nachádzal 30 cm pod vodnou hladinou, táto hodnota bola korigovaná priamo v zariadení. Pre odstránenie nepresností sa počas zamerania vykonávali kontrolné referenčné merania hĺbok na vybranej sade bodov ciachovanou tyčou s plochou pätkou (8 – 10 % meraní).

K najväčším chybám v presnosti sonaru dochádza v príbrežných partiách plytkých do 1 m, kde boli tieto chyby korigované pomocou ciachovanej tyče s plochou pätkou. Spôsob zamerania hĺbky nádrže iba ciachovanou tyčou bez použitia sonarového zariadenia je zdanlivo presný, avšak z hľadiska sťaženej stabilizácie plavidla na vodnej hladine je zachovanie vertikálnej polohy ciachovanej tyče už pri hĺbke nad 3 až 5 metrov nemožné. Vďaka zavedeniu nových postupov pri terénnom mapovaní dochádza k výraznému skráteniu a zjednodušeniu práce (Česák, Šobr 2005). Rovnaká metodika zamerania hĺbky bola použitá na viacerých vodných nádržiach v okolí Banskej Štiavnice (Belianska vodná nádrž, vodná nádrž Evička, vodná nádrž Bakomi, vodná nádrž Veľká Kolpašská). Keďže niektoré už analyzované nádrže boli po výskume a zameraní vypustené z dôvodu rekonštrukcie pracovníkmi Slovenského vodohospodárskeho podniku š. p. v rámci dlhodobého programu obnovy a údržby, spätne bola vykonaná verifikácia presnosti zamerania vybraných bodov metódou pozemnej nivelácie a vynesení uzavretého polygónového ťahu. Priemerná chyba meraní, resp. odchýlka zo sonarového zariadenia bola stanovená na  $\pm 3$  cm.

Jednotlivé body merania boli lokalizované prístrojom GPS. Hĺbkové údaje boli prepočítané na absolútne nadmorské výšky dna na základe známej absolútnej výšky vodnej hladiny v čase merania, odvodené od výšky poklesu hladiny voči nadmorskej výške prepadovej hrany (sklzu) pre odtok – 470,90 m n. m. Registráciou historickej mapy z roku 1908 v súradnom systéme S-JTSK a preložením so súčasnými mapovými podkladmi bol identifikovaný posun zátopovej čiary a zmenšenie vodnej plochy na úkor zazemnenej časti.

V tomto priestore prebehlo pozemné geodetické zameranie s cieľom získať topografické údaje dokumentujúce súčasný stav. Použitá bola technická nivelácia zo stredu teodolitom značky Geomaster-DSA 200, vrátane ručného GPS

zamerania zariadením Mobile Mapper 6. V teréne bol kontrolne vyneseny uzavretý polygónový ťah. Obe siete bodov boli nakoniec spojené do jednej, pričom vznikol vektorový súbor zachytávajúci aktuálny stav nadmorských výšok dna Halčianskej nádrže ako aj územia, ktoré dnes leží mimo zátopovej čiary.

Zdrojom historických údajov o pôvodnom reliéfe dna bola mapa hĺbnic pre výpočet kubatúr s názvom „Halčiansky rybník – Banská Belá – Banský Studenec“ z roku 1908 v mierke 1 : 1 000. Mapa bola skenovaná s rozlíšením 300 DPI. Zakreslené hĺbnice boli vektorizované v softvérovom prostredí R2V a bola im priradená hodnota „Z“ odčítaná z historického plánu. Následná registrácia vektora do S-JTSK (Křovákovo zobrazenie), používaného v rámci Slovenska bola vykonaná v prostredí ArcGIS. Referenčný kartografický podklad so známym súradnicovým systémom tvorili letecké snímky (Eurosence 2006). Registrácia bola spracovaná na základe výberu vhodných kót, ktoré sa na obidvoch podkladoch dali jednoznačne identifikovať, napr. poloha manipulačnej boudky na hrádzi, križovatky ciest, teleso hrádze atď. Vektory historického plánu a údaje získané z terénneho zamerania v priestore nad zátopovou čiarou, boli napojené na jednotný vektorový podklad získaný z máp mierkovej sady 1 : 10 000, stav k roku 2006 (1 : 10 000, GKÚ 2006).

Dáta z obidvoch zdrojov (časových horizontov) boli spracované v softvérovom prostredí Surfer 8 (Golden Software). Interpoláčnou metódou Kriging (Webster, Oliver 2001) boli vygenerované gridy s rozmerom bunky 3×3 m. Geometria okolia použitého pre výpočet konkrétnej hodnoty bola zvolená ako kruhová, jej polomer bol stanovený tak, aby účinné okolie interpolácie zahrňovalo dostatok bodov priestoru s možnosťou autokorelácie. Ide o značne subjektívny odhad, optimum pre ďalší výpočet bolo minimálne 12 údajov (Isaaks, Srivastava 1989). Kvalita predikcie bola verifikovaná procedúrou Cross-Validation (Deutsch 2002). Rozdelenie početnosti reziduálov bolo normálne, s priemerom blížiacim sa k nule. Vzájomným odčítaním obidvoch modelov funkciou Grid/Volume bol od modelu súčasného stavu (Upper Surface) odpočítaný model zachytávajúci stav v minulosti (Lower Surface), čoho výsledkom bolo číselné vyjadrenie rozdielu oboch modelov, teda objem naplavených sedimentov.

Mikropovodie nádrže bolo vyčlenené na základe reliéfovo-hydrologických vzťahov (charakterizované sú najmä smermi a intenzitou základných reliéfových a hydrologických procesov (Hreško, Mederly, Petrovič 2003).

Analýza sklonu a orientácie svahov mikropovodia bola spracovaná v prostredí ArcGis (modul Spatial Analyst/Surface analysis/ Slope/Aspect) na základe 3D modelu reliéfu mikropovodia vygenerovaného z vektorového modelu vrstevníc získaného vektorizáciou podkladových máp ZM 1 : 10 000. Analýza slnečného príkonu bola spracovaná porovnaním a syntézou rastra sklonov a orientácií. Ako prvý predpoklad pre analýzu odtokových pomerov bolo vytvorenie tvarov reliéfu (horizontálna a vertikálna krivosť). ArcGIS modulom Curvature boli vypočítané oba modely krivosti z podkladového DEM. Priestorovou syntézou horizontálnej a normálovej (vertikálnej) krivosti boli vytvorené formy reliéfu, vyjadrujúce tendenciu pohybu materiálu po svahu a rýchlosti jeho pohybu. Charakteristika povrchový odtok bola získaná syntézou mapy sklonov reklasifikovanej na 7 kategórií a mapy foriem reliéfu. Pri syntéze bol dodržaný postup metodiky LANDEP (Miklós a kol. 1990) – kombinovaním krivosti a sklonov a kvantifikáciou indexov pre intenzitu odtoku sme dostali záverečný výstup,

mapu intenzity povrchového odtoku. Stanovenie indexov slnečného príkonu a kvantifikácia indexov bola v prostredí ArcGIS spracovaná opäť podľa metódy LANDEP (Miklós a kol. 1990). Druhotná krajinná štruktúra mikropovodia bola spracovaná taktiež v prostredí ArcGIS na základe podkladových leteckých snímok (Eurosence 2006), aktualizovaných pre rok 2010 v teréne. Mapovaných bolo 10 kategórií: zastavané územie, orná pôda, lúky a trvalé trávne porasty, nelesná drevinová vegetácia, ihličnatý les, listnatý les, zmiešaný les, vodná plocha, komunikácie a vodné toky. Súčasná krajinná štruktúra bola spracovaná v prostredí ArcGIS na základe terénneho mapovania a doplnená bola o údaje interpretované z leteckých snímok (Eurosence 2006).

## 4. Výsledky

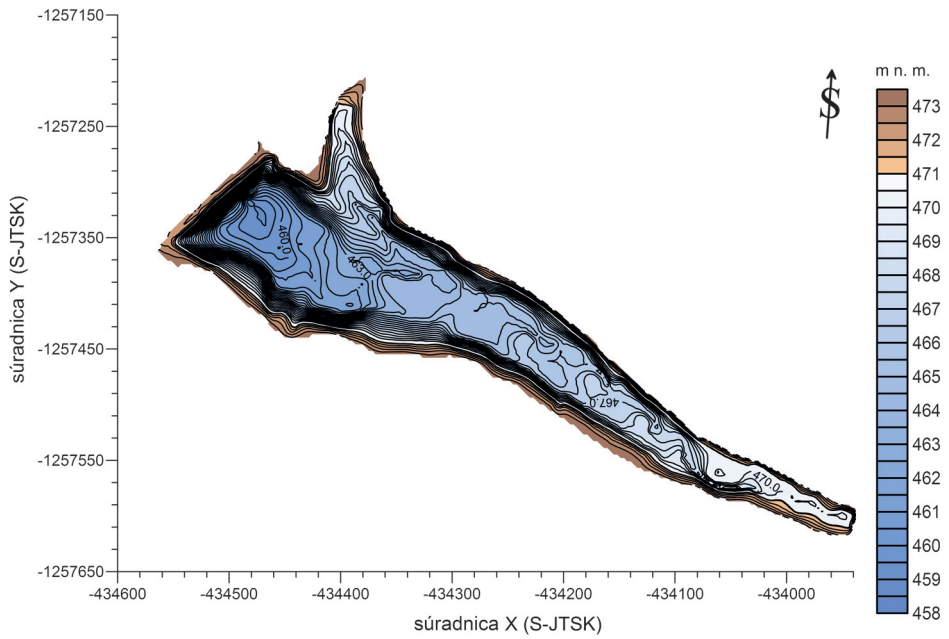
### 4.1. Analýza zmien objemu

Interpoláciou vstupných údajov boli získané dva modely územia, ktoré predstavujú situáciu vodnej nádrže v roku 1908 (obr. 3) a v roku 2010 (obr. 4). Výsledný výpočet objemu bol realizovaný pomocou troch klasických numerických integračných algoritmov v softvéri Surfer 8, konkrétne Extended Trapezoidal Rule = 35 901 m<sup>3</sup>, Extended Simpson's Rule = 35 864 m<sup>3</sup>, Extended Simpson's 3/8 Rule = 35 857 m<sup>3</sup>.

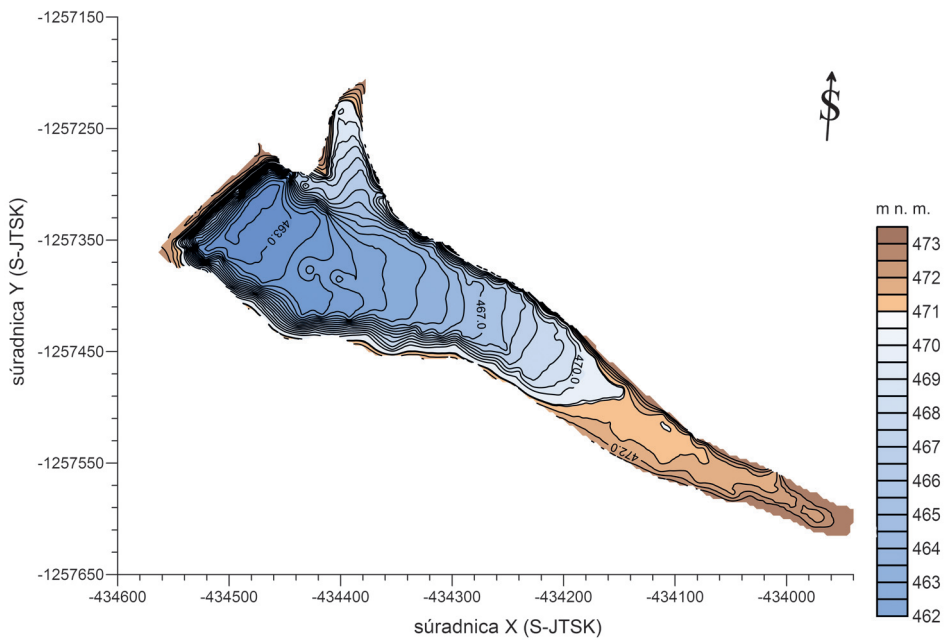
Za výsledný objem sedimentov považujeme aritmetický priemer z troch vypočítaných metód: 35 874 m<sup>3</sup> (smerodajná odchýlka  $\sigma = 23,61$ ). Výsledok predstavuje rozdiel dvoch reálnych povrchov, teda objem sedimentov naplavených do Halčianskej nádrže v priebehu 102 rokov, čo je v priemere 351,71 m<sup>3</sup> ročne. Erózne-akumulačnými procesmi došlo aj k zmenšeniu vodnej plochy, teda k posunu zátopovej čiary. Celková zmena vodnej plochy za dané časové obdobie 102 rokov predstavuje 9 373,6 m<sup>2</sup>. Zmenu vidíme porovnaním 3D modelov blízkeho okolia nádrže pre oba časové horizonty (obr. 5 a obr. 6). Model reliéfu dna v roku 1908 (obr. 3) je pomerne členitý, nepravidelný, v horizontálnom smere s množstvom konkávných a konvexných tvarov, orientácia brehu je veľmi variabilná, pravdepodobne daná reliéfom pôvodnej doliny, ktorej prehradením vznikla Halčianska nádrž. Model reliéfu dna v roku 2010 (obr. 4) je podstatne menej členitý, pravidelnejší a symetrickejší, pozvoľne rastie smerom k prítoku. Rovnako je to aj s jeho orientáciou, dno je orientované len jedným smerom, k telesu hrádze. Priemernú výšku vrstvy sedimentov predstavuje hodnota 2,6 m. Výška klesá smerom od prítoku k telesu hrádze. Je možné pozorovať známky gravitačného triedenia sedimentov.

### 4.2. Analýza druhotnej krajinnej štruktúry, sklonu, orientácií svahov, slnečného príkonu a intenzity odtoku

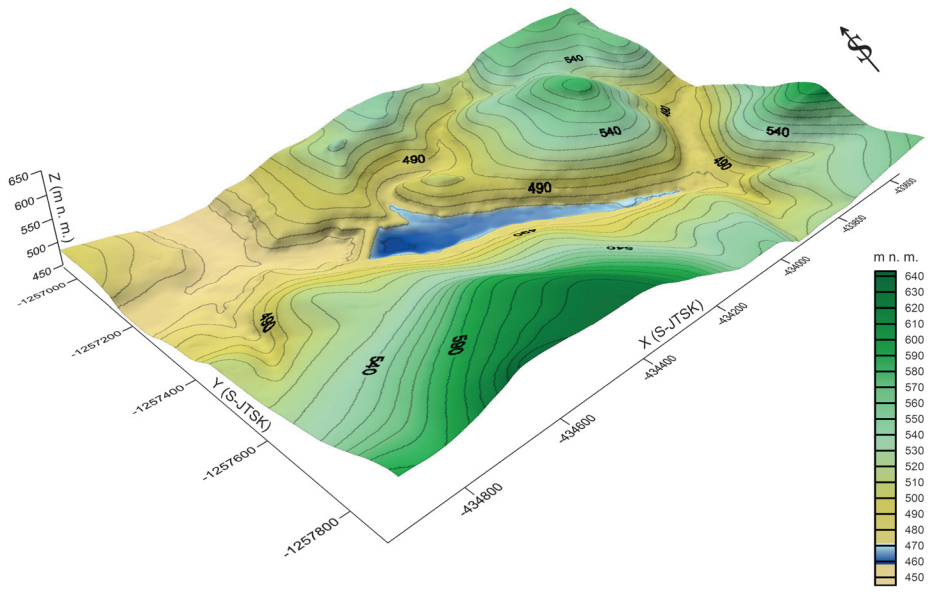
Z analýzy aktuálnej druhotnej krajinnej štruktúry (tab. 1) je zrejmé, že 72,81 % tvorí les, čo hodnotíme ako pozitívne, keďže práve lesný porast má významnú protieróznú a stabilizačnú funkciu. Naopak zastavané územie tvorí



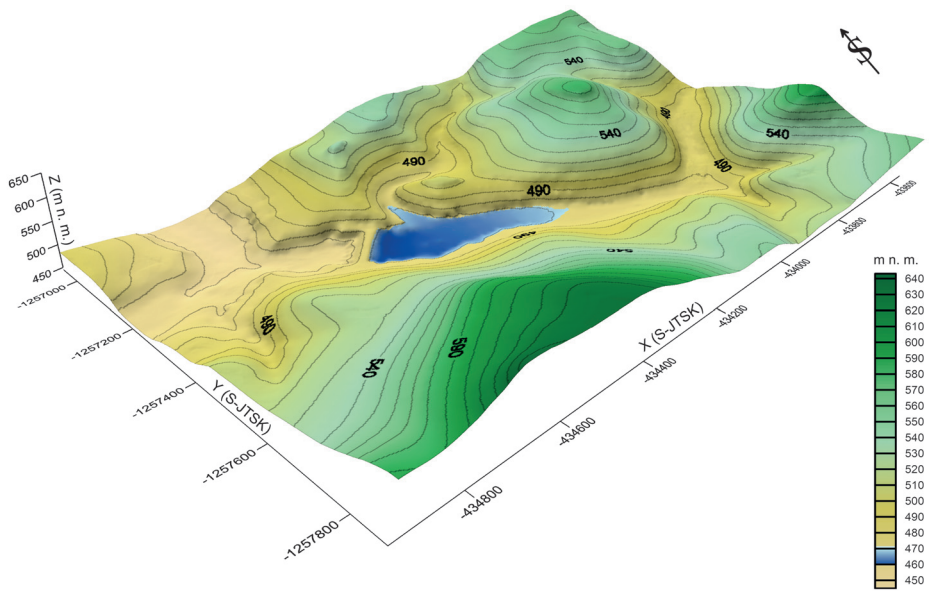
Obr. 3 – Detail dna nádrže – stav v roku 1908



Obr. 4 – Detail dna nádrže – stav v roku 2010

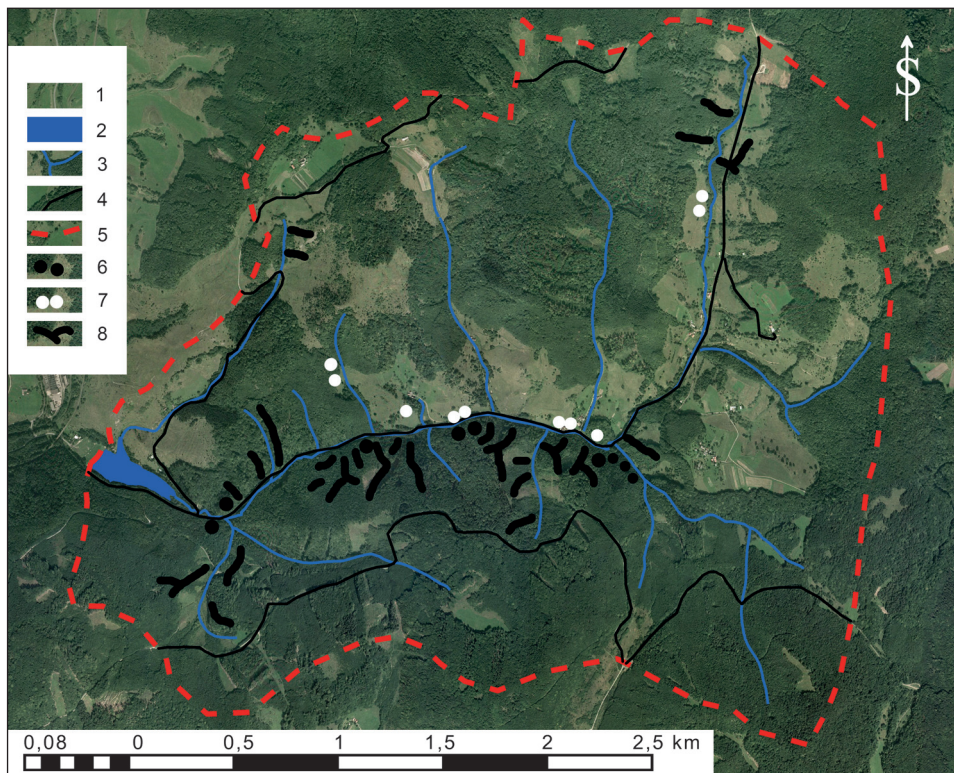


Obr. 5 – Model blízkeho okolia Halčianskej vodnej nádrže v roku 1908



Obr. 6 – Model blízkeho okolia Halčianskej vodnej nádrže v roku 2010





Obr. 7 – Erózne plochy. 1 – ortofotosnímka Eurosenca 2006, 2 – vodná plocha, 3 – tok, 4 – cesty, 5 – hranica povodia, 6 – plošná erózia, 7 – brehové zosuvy, 8 – líniová erózia.

iba 0,26 % plochy povodia. Obnažené povrchy sú koncentrované práve v eróziou postihnutých úzkych dolinách roklínového typu, ich mapovanie prebehlo terestricky prevažne v rámci plôch všetkých troch kategórií lesa. Viazané sú na nespevnené, alebo ľahko erodovateľné litologické členy postvulkanickej stavby Štiavnických vrchov (obr. 7).

Podľa tabuľky sklonov (tab. 2) je zrejmé, že väčšina územia je situovaná na strmých svahoch so sklonom väčším ako  $7^\circ$ . Strmé svahy v kombinácii s nestabilným podkladom prispievajú k vzniku erózných procesov a foriem.

Orientácia reliéfu (tab. 3) je významný faktor pôsobiaci na intenzitu erózie. Má preukázateľný vplyv na odtokové pomery, topenie snehu a režim odtoku. Severné svahy majú oproti južným svahom tendenciu dlhodobejšie akumulovať väčšie zásoby snehovej pokrývky, pričom jej topenie býva pozvoľné, bez výskytu extrémnych výkyvov, čo pozitívne vplyva na schopnosť zasakovania a prestupu vody do nižších horizontov. V našom území v dôsledku väčšieho slnečného príkonu sú pôdy na južných svahoch viac a rýchlejšie odvodňované a vysušované, čo okrem nárastu rizika vzniku erózných procesov ovplyvňuje aj rozklad organických látok.

Oslnenie reliéfu, resp. slnečný príkon (tab. 4), predstavujúce množstvo dopadajúceho žiarenia je ukazovateľ, ktorý môžeme získať syntézou mapy sklonov

Tab. 1 – Charakteristika druhotnej krajinnej štruktúry povodia

| Katégoria druhotnej krajinnej štruktúry | Celková plocha (m <sup>2</sup> ) | Celkový podiel (%) |
|---|----------------------------------|--------------------|
| Zastavané územie                        | 23 913                           | 0,26               |
| Orná pôda                               | 197 499                          | 2,16               |
| Lúky                                    | 2 032 038                        | 22,26              |
| Nelesná drevinová vegetácia             | 127 679                          | 1,39               |
| Ihličnatý les                           | 38 360                           | 0,44               |
| Listnatý les                            | 1 989 009                        | 21,80              |
| Zmiešaný les                            | 4 681 242                        | 51,29              |
| Vodná plocha                            | 37 172                           | 0,40               |
| Spolu                                   | 9 126 912                        | 100,00             |

Tab. 2 – Charakteristika sklonu svahov povodia

| Orientácia     | Rozloha (m <sup>2</sup> ) | Podiel (%) |
|----------------|---------------------------|------------|
| 1 (0–1°)       | 10 203,00                 | 0,11       |
| 2 (1–3°)       | 88 456,00                 | 0,96       |
| 3 (3–7°)       | 355 636,00                | 3,89       |
| 4 (7–12°)      | 1 290 871,90              | 14,14      |
| 5 (12–17°)     | 3 111 731,60              | 34,09      |
| 6 (17–25°)     | 2 904 142,20              | 31,85      |
| 7 (25° a viac) | 1 365 871,90              | 14,96      |
| Spolu          | 9 126 912,50              | 100,00     |

Tab. 3 – Charakteristika orientácie svahov povodia

| Orientácia | Rozloha (m <sup>2</sup> ) | Podiel (%) |
|------------|---------------------------|------------|
| Sever      | 3 047 180,40              | 33,39      |
| Východ     | 1 823 348,80              | 19,98      |
| Juh        | 1 886 653,80              | 20,68      |
| Západ      | 2 369 729,50              | 25,95      |
| Spolu      | 9 126 912,50              | 100,00     |

Tab. 4 – Charakteristika slnečného príkonu svahov povodia

| Slnečný príkon (kJ) | Rozloha (m <sup>2</sup> ) | Podiel (%) |
|---------------------|---------------------------|------------|
| 695–725             | 1 236 344,30              | 13,54      |
| 675–695             | 1 440 648,30              | 15,75      |
| 656–675             | 4 310 934,10              | 47,20      |
| 616–655             | 650 070,30                | 7,12       |
| 576–615             | 314 285,40                | 3,55       |
| 536–575             | 668 393,50                | 7,30       |
| do 535              | 506 236,30                | 5,54       |
| Spolu               | 9 126 912,50              | 100,00     |

a orientácie reliéfu. Výsledky poukazujú, že takmer polovica územia (47,20 %) leží na plochách s príkonom 656 až 675 kJ, teda hovoríme o vyššom slnečnom príkone. Takmer 30 % územia leží na plochách s príkonom nad 675 kJ, čo v konkrétnych nadmorských výškach s výskytom silných mrazových nocí pozitívne ovplyvňuje riziko mrazového rozrušovania menej kompaktných hornín aj v rámci 24-hodinového cyklu.

Posledné dekády sú charakteristické prudkým jarným oteplením najmä v mesiacoch apríl až máj. Náhle roztopenie snehovej pokrývky sprevádzané následne epizodickými prudkými privalovými dažďami vytvára cestu k vzniku intenzívnej vodnej a brehovej erózie.

### 4.3. Mapovanie erózných plôch

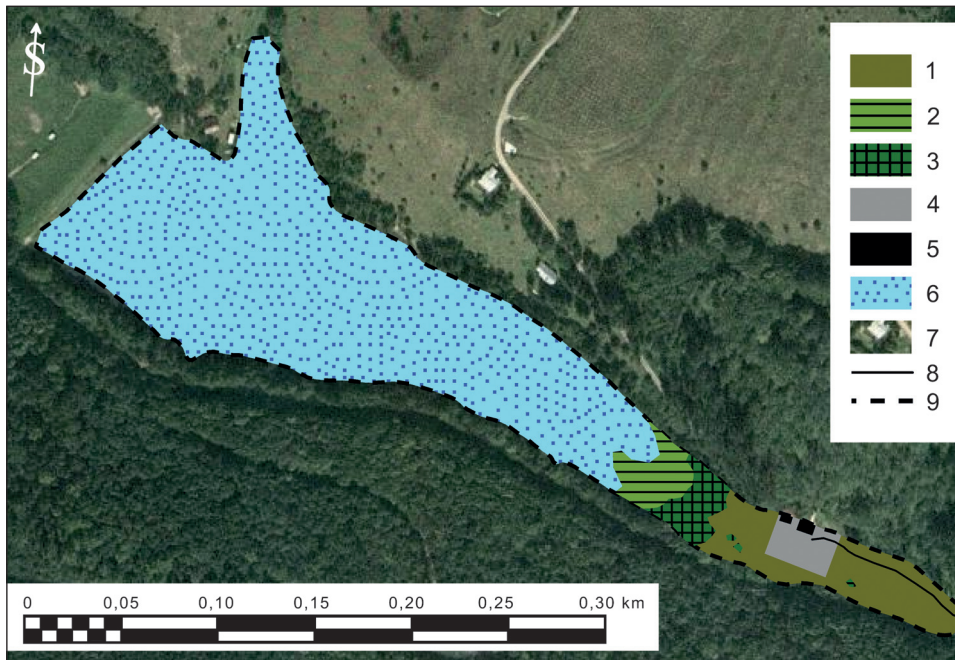
Na základe čiastkových výsledkov z morfologetrických analýz, terénnymi pochôdzkami a empiriou sme vyčlenili mapu erózných plôch povodia Halčianskej vodnej nádrže. Mapovaná bola plošná, líniová erózia a brehové zosuvy nestabilného podkladu vrátane kvartéru (obr. 7).

### 4.4. Súčasná krajinná štruktúra na ploche, ktorá bola v roku 1908 súčasťou nádrže

Rozloha územia, ktoré bolo už v roku 2010 vplyvom sedimentácie a postupného zanášania nádrže mimo zátopovej čiary je 9 374 m<sup>2</sup>. Na tejto časti územia je možné vidieť príklad sekundárnej sukcesie. Najstaršia časť územia, ktorá sa ako prvá dostala mimo vodnú plochu sa nachádza v juhovýchodnej časti nádrže. Terénnym prieskumom bolo zistené, že jej drevinové zloženie tvorí najmä Jelša lepkavá (*Alnus glutinosa Gaertn.*). Priemerná výška jedincov bola odhadnutá na 15 – 17 m, priemerná hrúbka kmeňa 30 – 35 cm. Nachádza sa tu aj krovinná zložka, tvorí ju Baza červená (*Sambucus racemosa L.*) a Baza čierna (*Sambucus nigra L.*). Ojedinele sa vyskytol Hrab obyčajný (*Carpinus betulus L.*) a Vrba biela (*Salix alba L.*). Bližšie k ploche vodnej nádrže bol zaznamenaný výskyt Vrby bielej (*Salix alba L.*). Ich priemerná výška bola 20 m, hrúbka 35 – 50 cm. Tesne pri vodnej hladine na jemnozrnných frakciách sedimentu bol zaznamenaný výskyt mladších vrb, ktorých výška nepresahovala 5 m a hrúbka kmeňa 10 cm, ako aj Pálka širokolistá (*Typha latifolia L.*) Na tomto území sa dnes nachádzajú aj dve budovy, chaty, ktorých okolie je človekom upravené, planifikované a návozmi spevnené. Na tejto ploche sa vďaka výrubom nenachádzajú žiadne dreviny, ani solitérne. Situáciu ilustruje obrázok 8.

## 5. Diskusia

Zmena pôvodného účelu a spôsobu využívania vodných nádrží spolu so zmenou hospodárskeho využívania a správy prislúchajúceho povodia vedie v kritických prípadoch k rastu povrchového odtoku, k vzniku erózných procesov a rastu ich dynamiky, následne k zmenám reliéfu. Všetky tieto faktory



Obr. 8 – Súčasná krajinná štruktúra. 1 – zastúpenie Jelše Lepkavej, 2 – zastúpenie Vrbý Bielej – mladé, 3 – zastúpenie Vrbý Bielej – staršie, 4 – človekom pozmenené územie, 5 – budovy, 6 – vodná plocha v roku 2010, 7 – ortofotosnímka Eurosence, 8 – komunikácie a cesty, 9 – hranica vodnej plochy v roku 1908.

častokrát pôsobia v povodiach spoločne s negatívnymi zmenami v skladbe druhotnej krajinskej štruktúry, čo vedie nielen k zanášaniam vodných nádrží, k zmene ich biologickej rovnováhy, kvality vody, ale postupne končí ich zazemením, prípadne úplnou likvidáciou.

Nekontrolovaná akumulácia sedimentov je závažný problém nielen v našich podmienkach. Na priehrade Velika Dicina v Srbsku došlo za 45 rokov (1966 – 2011) k akumulácii 18 750 m<sup>3</sup> sedimentov (Ristic a kol. 2013). Autori za hlavnú príčinu nepriaznivého stavu považujú antropogénne pôsobenie v povodí. Aj v študovanom povodí Halčianskeho potoka boli pozorované viaceré negatívne faktory (nevhodné ťažobné postupy, pohyb ťažkých mechanizmov po nespevných cestách, zmena krajinskej pokrývky nepriaznivou modifikáciou pôvodnej drevinovej skladby). V nádrži Altinapa v Turecku došlo za periódu 1967 – 2009 k zníženiu zásobnej kapacity o 33,4 % (Ceylan, Karabork, Ekozoglu 2011). V Mladotickom jazere v Česku došlo za periódu 1972 – 2003 k zníženiu kapacity o 26,5 % (Janský a kol. 2010). Nepriaznivá situácia zanášania jazier a nádrží bola popísaná aj v susednom Poľsku, kde spolu 25 jazier za periódu 50 rokov stratilo 9,9 % akumulačnej kapacity (Choiński, Ptak 2009).

Prevažná časť územia sa pritom nenachádzala v pásme silného odtoku, ale naopak stredne silného až mierneho odtoku. Rovnako je tomu aj v prípade povodia Halčianskej vodnej nádrže, kde rastúca intenzita eróznou-akumulačných procesov ohrozuje samotnú existenciu vodnej nádrže. Akumulácia sedimentov

najmä v oblasti vývariska vedie k čiastočnej, či plnej nefunkčnosti dnových výpustných zariadení.

Hrúbka sedimentu v týchto miestach často dosahuje aj niekoľko metrov (Wang, Wu, Wang 2005). V jazere Dąbie (Wiśniewski, Wolski 2005) došlo len za 34 rokov (1962 – 1996) k naplaveniu viac ako 2 m hrubej vrstvy sedimentu, pri neďalekej Belianskej nádrži za 156 rokov k naplaveniu sedimentu s maximálnou hrúbkou až 4,5 metra (Kubinský, Weis 2012).

Funkcie lesa proti povrchovému odtoku je zrejmá. Les zmierňuje vodnú eróziu, zadržáva vodu, spomaľuje jej pohyb. Negatívne pôsobenie človeka v lesných plochách je dané predovšetkým nešetrným spôsobom ťažby a nevhodné použitie mechanizmov. Počas terénneho prieskumu územia bolo zistené, že väčšia časť porastov ma slabé zakmenenie, rovnako aj slabú krovinnú etáž, čo je pravdepodobne jeden z dôvodov erózných procesov, napriek veľkej lesnatosti v území. Poukazujeme aj na zmenu drevinového zloženia, ktorá je v typickej banskej krajine, akou je aj modelové povodie bežná. Paradoxne podľa štúdie v oblasti Loess Plateau v Číne má zmena využívania krajiny v malých povodiach menší vplyv na povrchový odtok počas príválových dažďov (Zhang a kol. 2010). K podobným záverom o menšom vplyve využívania krajiny, resp. zmien v „land use“ na rýchlosť a intenzitu sedimentácie dospeli aj iní autori (Janský a kol. 2010), ktorých zistenia korešpondujú s našimi výsledkami: kľúčovými faktormi sa obvyčajne stávajú mimoriadne hydrologické udalosti v povodí, narušenie nestabilných, ľahko erodovateľných svahov v povodí, degradácia, resp. absencia brehovej vegetácie, alebo kombinácia týchto faktorov.

Nástup rýchlorastúcich drevín pre ekonomické dôvody sa dnes prejavuje aj týmto spôsobom. Naviac v území sa vyskytuje veľký počet lesných nespevnených ciest a zväžnic. Je potrebné použiť šetrnejšie spôsoby ťažby v záujmovom území na miestach s veľkým sklonom, ťažbu čo najviac obmedzovať, racionálne voliť prístupové trasy na sústreďovanie dreva. Ako bolo spomenuté, drevinové zloženie je v území nepôvodné, prípadne výrazne pozmenené. Pri pestovaní porastov odporúčame prinavrátiť sa aspoň z časti k pôvodnej skladbe drevín, prípadne na miestach s kritickým sklonom, alebo so slabou krovinnou etážou zamedziť ťažbu úplne. Vyššie uvedené hodnotenia môžu slúžiť k určaniu rizikových častí povodia Halčianskej vodnej nádrže, potenciálne najviac prispievajúcich k zanášaniam (obr. 7). Podobnú štúdiu v povodí vodnej nádrže Klenovec spracovali Kočický a kol. (2002). Následné zásahy v povodí by mali smerovať k zlepšeniu protierózných a protiodtokových vlastností týchto častí povodia.

Ako posledný, ale významný faktor je geologické podložie. Andezit ako prevládajúca vulkanická hornina v študovanej oblasti je pri svojej veľkej variabilite zloženia veľmi rozdielne odolný voči vplyvom počasia a náchylný na rozrušovanie. Absencia nevyvinutého, alebo erodovaného pôdneho krytu tieto riziká ešte zvyšuje, pričom výsledkom je chýbajúci akýkoľvek porast (bylinný, trávnatý alebo drevinový). Intenzívne dažďové zrážky sú v poslednej dobe významný faktor podieľajúci sa na rozrušovaní a vzniku nových svahových pohybov (Janský a kol. 2010). Posledné roky sa aj v lokalite Štiavnických vrchov pravidelne opakujú príválové dažďe. Dolinové vyústenia prirodzených prítokov sú tvorené deluviálnymi a deluviálno-fluviálnymi sedimentmi. Práve tie sú na kritických miestach s dynamizujúcimi morfológickými vlastnosťami, častokrát v líniiach mladoterciérnych a kvartérnych tektonických porúch.

Ak hľadáme odpoveď na otázku ktoré sú to opatrenia, ktoré by situáciu v povodí zlepšili a zmiernili pôsobenie erózie a spomalili zanášanie nádrže sedimentmi, nutne musíme zohľadniť zánik viacerých oporných múrov pôvodne spevňujúcich brehu toku a zberných jarkov, rovnako ako zánik sedimentačnej kazety tesne pred zaústením potoka do vodnej nádrže. Existujúca sieť záchytných jarkov nie je udržiavaná, niektoré sú takmer rozpadnuté, čím strácajú aj svoj pôvodný protierózny význam. Pred vyústením toku do priestoru nádrže je potrebné opätovné vybudovanie sedimentačnej kazety s rozmerom aspoň 20 × 7 metrov, hĺbokej minimálne 3 metre, ktorú po vybudovaní bude potrebné pravidelne kontrolovať a naplavený sediment odčistiť, pri priemernom ročnom objeme sedimentov takmer 360 m<sup>3</sup> približne v ročných intervaloch. Vzhľadom na výraznú dĺžku hlavného prítoku a početnosť prítokov 2. rádu by bolo vhodné menšie sedimentačné zariadenia vybudovať aj na ďalších častiach toku, prípadne prehradiť kolmé doliny perforovanými opornými múrmi. Podobné opatrenia ešte z prvej polovice 20. storočia sa na mnohých iných krátkych prítokoch v okolí Banskej Štiavnice ukázali ako vhodné a účinné.

Halčianska vodná nádrž spolu s ďalšími patrí pod správu Slovenského vodohospodárskeho podniku. Z interných dokumentov a projektov pre obnovu a údržbu nádrží je zrejmé, že práce sa zameriavajú na rekonštrukciu hrádzového telesa, výpustných a bezpečnostných zariadení. Odčista sedimentu z priestoru vodnej nádrže sa vykonáva len v nevyhnutnej miere, k zabezpečeniu prístupu k vypúšťacím zariadeniam. Nevyhnutnosť väčšej odčistby v prípade ohrozenejších vodných nádrží bude žiaľ opäť limitovaná nedostatkom financií.

Použitá metóda zberu údajov v teréne sa ukázala ako rýchla, finančne nenáročná a dostatočne presná. Presnosť generovaných modelov a získavania terénnych údajov preukázala dostatočnú kvalitu a použiteľnosť. Mierne odchýlky by mohli byť odstránené a výsledok spresnený sieťou meracích bodov získaných priamo na hladine pomocou sonaru zahustením siete z 10 m na 5 metrov, podobne zahustením siete bodov meraných na ploche nad zátopovou čiarou. Ďalšie možnosti spresnenia výpočtu sú v modifikácii rozmeru buniek gridu z použitých 3 × 3 na 2 × 2 m. Po prvotnom zmeraní batymetrických údajov a ich vizualizácii by bolo možné vykonať dodatočné terénne zameranie na miestach, kde nedošlo k požadovanému pokrytiu plochy meranými bodmi napr. z dôvodu odklonenia či nežiaduceho náklonu plavidla počas zberu údajov. Detailizácia je nutná aj na miestach s členitým dnom, kde sa na relatívnej malej ploche detekujú veľké hĺbkové rozdiely (náplavový kužeľ, rigol, zosuv brehov a iné). V príbrežných častiach vodnej nádrže je možné vo väčšej miere doplniť údaje o hĺbkach priamym zameraním ciachovanou tyčou s plochou pätkou, podobne ako v prípade hradených jazier (Smolková, Pánek, Hradecký 2009), pričom rovnako využijť ešte presnejšiu polohovú lokalizáciu meracích bodov napr. použitím GNSS Roverov s online SKPOS korekciami.

Presné batymetrické zameranie je hlavný predpoklad komplexného pochopenia fungovania erózo-sedimentačných procesov (McAlister a kol. 2013), rovnako morfometrické pomery v širšom povodí vodných nádrží (Yesuf a kol. 2013). Len tak bude možné prijať a implementovať vhodné manažmentové opatrenia, ktoré by dlhodobo garantovali zachovanie najdôležitejšej funkcie, tvorby dlhodobých povrchových zásob vody a protipovodňovú ochranu, resp. umožňovali predpovedať budúci vývoj (Wiśniewski, Wolski 2005).

## 6. Záver

Cieľom príspevku bola analýza príčin a výpočet zmien objemu Halčianskej vodnej nádrže podmienené akumuláciou sedimentov z vlastného povodia, vizualizácia výsledkov pomocou 2D a 3D modelovania a návrh reálnych opatrení. Vypočítaná intenzita zanášania poskytuje predstavu o procesoch prebiehajúcich v povodí vodnej nádrže. Analýzou zvolených morfometrických charakteristík a druhej krajinej štruktúry povodia môžeme komplexnejšie pochopiť eróznio-sedimentačné procesy v záujmovom území a na ich základe navrhnúť vhodné postupy a manažmentové opatrenia pre zachovanie a zlepšenie stavu. Z výsledkov je zrejmé, že za 102 rokov (1908 – 2010) došlo k naplaveniu celkom 35 874 m<sup>3</sup> sedimentov. V priebehu rokov sa vodná plocha zmenšila približne o tretinu. V miestach, ktoré sa dostali za zátopovú čiaru a ktoré sú vyplnené usadeným sedimentom pozorujeme sekundárnu sukcesiu. Tento trend má svoje potenciálne dynamizujúce premenné. Analýzou pomerov v samotnom povodí konštatujeme, že hlavná príčina tohto nepriaznivého stavu je v zmene využívania vodnej nádrže a v zániku sedimentačnej kazety, ktorá bola v minulosti niekoľkokrát počas roka vyprázdňovaná. Dynamizujúco pôsobia vlastnosti ľahko erodovateľného geologického podložía, morfometrické charakteristiky reliéfu vhodné pre vznik erózných procesov, rovnako ako neregulovaná lesohospodárska činnosť človeka. Halčianska vodná nádrž spolu s ďalšími nádržami v okolí Banskej Štiavnice patria do Zoznamu objektov svetového prírodného a kultúrneho dedičstva UNESCO. Jej pôvodná funkcia, zásobovať vodou banské mechanizmy a hutnícke zariadenia ukončením baníctva zanikla. Stále sa však využíva na rybolov, rekreáciu, plní protipovodňovú ochranu a tvorí významný krajinnokoekologický a ekostabilizujúci prvok. Tieto dôvody musia byť pre nás zaväzujúce a mali by viesť ku komplexnejšej zmene v správe a manažmente týchto unikátnych technických objektov.

*Podakovanie patrí Ing. Václavovi Koledovi zo Správy stredného Hrona (SVP, š. p.), vedúcemu pracoviska Štiavnické Bane, za poskytnutie potrebných historických podkladov a cenných informácií tykajúcich sa Halčianskej vodnej nádrže.*

## Literatúra:

- AHMED, K. B., SANCHEZ, M. (2011): A study of the factors and processes involved in the sedimentation of Tarbela reservoir, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 62, č. 5, s. 927–933.
- ČESÁK, J., ŠOBR, M. (2005): Metody batymetrického mapování českých jezer. *Geografie*, 100, č. 3, s. 141–151.
- CEYLAN, A., KARABORK, H., EKOZOGLU, I. (2011): An analysis of bathymetric changes in altinapa reservoir. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6, č. 2, s. 15–24.
- DEUTSCH, C. V. (2002): *Geostatistical Reservoir Modeling*. Oxford University Press, New York, 376 s.
- DOST, R., MANNAERTS, C. (2008): Generation of Lake Bathymetry Using Sonar, Satellite Imagery and GIS, [http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc08/papers/papers/pap\\_1110.pdf](http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc08/papers/papers/pap_1110.pdf) (9. 1. 2014).
- ELÇI, Ş., BOR, A., ÇALIŞKAN, A. (2009): Using numerical models and acoustic methods to predict reservoir sedimentation. *Lake and Reservoir Management*, 25, č. 3, s. 297–306.

- FUSKA, J., LEITMANOVÁ, M. (2012): Tvorba DMR dna vodnej nádrže v súčasnom stave, <http://www.slpk.sk/eldo/2012/zborniky/014-12/fuska.pdf> (9. 1. 2014).
- GALIA, T., HRÁDECKÝ, J. (2010): Úvod do problematiky transportu dnových sedimentů beskydských vysokogradientových toků. In: Geografie pro život ve 21. století: Sborník příspěvků z XXII. sjezdu ČGS pořádaného Ostravskou univerzitou v Ostravě. Ostravská univerzita v Ostravě, Ostrava, s. 43–48.
- GALIA, T., HRÁDECKÝ, J. (2011): Bedload transport and morphological effects of high-magnitude floods in small headwater streams – Moravskoslezské Beskydy Mts. (Czech Republic). *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 59, č. 4, s. 238–250.
- GELLIS, A. C., WEBB, R. M. T., MCINTYRE, S. C., WOLFE, W. J. (2006): Land-Use Effects on Erosion, Sediment Yields, and Reservoir Sedimentation: A Case Study in the Lago Loíza Basin, Puerto Rico. *Physical Geography*, 27, č. 1, s. 39–69.
- HOLLISTER, J., MILSTEAD, W. B. (2010): Using GIS to estimate lake volume from limited data. *Lake and Reservoir Management*, 26, č. 3, s. 194–199.
- HREŠKO, J., MEDERLY, P., PETROVIČ, F. (2003): Processing of the Landscape Ecological Plan of the City of Považská Bystrica Using GIS. *Životné prostredie*, 37, č. 1, s. 195–212.
- CHILDS, J. R., SNYDER, N. P., HAMPTON, M. A. (2003): Bathymetric and geophysical surveys of Englebright Lake, [http://dev.yubashed.org/sites/default/files/null/mining\\_childsetal\\_2003\\_bathgeosurveyenglebright\\_rpt.pdf](http://dev.yubashed.org/sites/default/files/null/mining_childsetal_2003_bathgeosurveyenglebright_rpt.pdf) (9. 1. 2014).
- CHOIŃSKI, A., PTAK, M. (2009): Lake Infill as the Main Factor Leading to Lake's Disappearance. *Polish Journal of Environmental Studies*, 18, č. 3, s. 347–352.
- ISAAC, H. E., SRIVASTAVA, R. M. (1989): *Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, 561 s.
- JANSKÝ, B., SCHULTE, A., ČESÁK, J., RIOS ESCOBAR, V. (2010): The Mladotice Lake, western Czechia: The unique genesis and evolution of the lake basin. *Geografie*, 115, č. 3, s. 247–265.
- JORDAN, D. C., FONSTAD, M. A. (2005): Two Dimensional Mapping of River Bathymetry and Power using Aerial Photography and GIS on the Brazos River, Texas, *Geocarto International*, 20, č. 3, s. 1–8.
- KOČICKÝ, D., PAUK, J., KOČICKÁ, E., GARGALOVIČ, R., VÁGÓ, Z., VAZAN, V., WEIS, K., 2002: Eróznio-sedimentačné procesy na VN Klenovec. *Esprit s.r.o.*, Banská Štiavnica, 155 s.
- KRESS, W. H., SEBREE, S. K., LITTIN, G. R., DRAIN, M. A., KLING, M. E. (2005): Comparison of Preconstruction and 2003 Bathymetric and Topographic Surveys of Lake McConaughy, <http://pubs.usgs.gov/sir/2005/5040/sir2005-5040.pdf> (9. 1. 2014).
- KUBINSKÝ, D., WEIS, K. (2012): Zmeny retenčného objemu Belianskej vodnej nádrže (Belianskeho tajchu). *Acta hydrologica Slovaca, Ústav hydrológie SAV, Bratislava*, 13, č. 1, s. 108–115.
- KUBINSKÝ, D., LEHOTSKÝ, M., WEIS, K. (2014): Changes in bathymetry and land cover of riparian zone of an old artificial water reservoir Veľký Kolpašský. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9, č. 1, s. 171–178.
- McALISTER, J. R., FOX III, W. E., WILCOX, B., SRINIVASAN, R. (2013): Reservoir volumetric and sedimentation survey data: A necessary tool for evaluating historic sediment flux and appropriate mitigation response. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*. 18, č. 3, s. 217–296.
- MIKLÓS, L., KRCHO, J., HRNČIAROVÁ, T., KOZOVÁ, M. (1990): Interpretácia morfometrických vlastností reliéfu v krajinnoekologickom plánovaní LANDEP. *Ústav krajinnej ekológie SAV, Bratislava*, 68 s.
- ODHIAMBO, B. K., BOSS, S. K. (2004): Integrated echo sounder, GPS, and GIS for reservoir sedimentation studies: Examples from two Arkansas Lakes. *Journal of the American Water Resources Association*, 40, č. 4, s. 981–997.
- PAUK, J., MIKLÓS, L., TREMBOŠ, P. (1997): Vývoj eróznio-sedimentačných procesov vodnej nádrže Ružín: Čiastková správa D – Krajinnoekologické princípy ochrany nádrže pred zanášaním. *ESPRIT, Banská Štiavnica*, s. 1–46.
- PRADHAN, D., ANCEV, T., DRYNAN, R., HARRIS, M. (2011): Management of Water Reservoirs (Embungs) in West Timor, Indonesia. *Water Resources Management*, 25, č. 1, s. 339–356.



- RISTIĆ, R., LJUJIĆ, M., DESPOTOVIĆ, J., ALEKSIĆ, V., RADIĆ, B., NIKIĆ, Z., MILČANOVIĆ, V., MALUŠEVIĆ, I., RADONJIĆ, J. (2013): Reservoir sedimentation and hydrological effects of land use changes-case study of the experimental Dičina river watershed. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 8, č. 1, s. 91–98.
- SMOLKOVÁ, V., PÁNEK, T., HRÁDECKÝ, J. (2009): Holocene sedimentation dynamics and average catchment denudation acquired from the sedimentary basins of the landslide-dammed lakes in the Flysch Carpathians. In: *Geomorfologický sborník 8: Sborník abstraktů. Západočeská univerzita v Plzni, Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, v. v. i., Česká asociace geomorfologů*, s. 52.
- ŠKARPICH, V., GALIA, T., HRÁDECKÝ, J., PEČ, J. (2010): Identifikace (dis)konektivit vodních toků za využití makrogranulometrické analýzy korytových sedimentů (Moravskoslezské Beskydy). *Geol. výsk. Mor. Slez. v r. 2010*, s. 199–204.
- WANG, G. Q., WU, B. S., WANG, Z. Y. (2005): Sedimentation problems and management strategies of Sanmenxia Reservoir, Yellow River, China. *Water Resources Research*, 41, č. 9, DOI: 10.1029/2004WR003919.
- WEBSTER, R., OLIVER, M. (2001): *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley and Sons, New York, 330 s.
- WIŚNIEWSKI, B., WOLSKI, T. (2005): Changes in Dąbie Lake bathymetry in the period 1962–1996. *Limnological Review*, 5, s. 255–262.
- YESUF, H. M., ALAMIREW, T., MELESSE, A. M., ASSEN, M. (2012). Bathymetric Mapping for Lake Hardibo in Northeast Ethiopia Using Sonar. *International Journal of Water Sciences*, 2012, č. 1, s. 1–9.
- YESUF, H. M., ALAMIREW, T., MELESSE, A. M., ASSEN, M. (2013): Bathymetric study of Lake Hayq, Ethiopia. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 18, č. 2, s. 155–165.
- YUN, H. S., CHO, J. M. (2011): Hydroacoustic application of bathymetry and geological survey for efficient reservoir management. *Journal of the Korean Society of Surveying Geodesy Photogrammetry and Cartography*, 29, č. 2, s. 209–217.
- ZHANG, X. M., CAO, W. H., GUO, Q. C., WU, S. H. (2010): Effects of landuse change on surface runoff and sediment yield at different watershed scales on the Loess Plateau. *International Journal of Sediment Research*, 25, č. 3, s. 283–293.

Mapové podklady a jiné materiály:

EUROSENCE (2006): *Letecké meračské snímky*.

HYDROCONSULT (1991): *Banskoštiavnická oblasť – správa. Štúdia*. Bratislava, 164 s.

Slovenský vodohospodársky podnik, š. p., interné materiály, archív.

Štátny ústredný banský archív (HKG-Mapy, inv. č. 1855). *Halčiansky rybník – Banská Belá – Banský Studenec, kópia pôvodnej mapy z roku 1908 v mierke 1:10 000*.

## S u m m a r y

### ANALYSIS OF CHANGES IN THE VOLUME OF WATER IN THE HALČIANSKE RESERVOIR CAUSED BY EROSION AS A BASIS FOR WATERSHED MANAGEMENT

Processes of erosion-sedimentation represent a problem which is faced by every river basin, watercourse or reservoir. They cause a gradual reduction of water surface, reservoir storage, morphometric of bottom topography, and affect the quality and properties of water. Last but not least, they affect organisms living in the aquatic environment and cause changes in their habitat. The aim of this paper is to analyze changes to the bottom relief and the volume of the Halčianske reservoir within an interval of 102 years, this was possible with access to historical map documents. The results showed that over this period, the reservoir had accumulated 35,874 m<sup>3</sup> of sedimentation from its own basin. This can be considered as a negative occurrence. Moreover, there was a reduction in water surface, along with a displacement of flood lines, but it was also possible to observe an extensive overall shallowing of reservoir away from the main flow to the body of the dam.

The removal of such sediment layer is not only technologically, but also financially challenging. Moreover, the mere towing of the sediment is not the final step, as sediments are sorted by the Waste Act (Act on Waste – No. 223/2001 Z. z) in the category of hazardous waste which is subject to further special treatment and disposal. For these reasons (and others), SVP does not carry out towing of sediments during the reconstruction of reservoirs near Banská Štiavnica. By neglecting this issue, there could very well be a further substantial reduction of the water surface and eventually a gradual disappearance of the reservoir, or at least of its substantial part. We can observe a similar scenario in the case of the Banská Bela reservoir or the Belianská reservoir. Systematic research of sedimentation of reservoirs is vital for the understanding of the extent of the threat erosion poses to micro-river basins, as well as for the understanding of changes in the stock reservoir volume caused by the accumulation of sediments in the reservoir area. It allows us not only to know the specific amount of material deposited into the tank, its spatial distribution, but also to predict future developments.

For the main causes and sources of erosion and subsequent sedimentation, we have to look within the broader study area. Most of the area has a slope greater than 12°, nearly 45% of the territory is located on slopes with an angle of more than 17°. Up to 38% of the model area has a south-facing aspect, which in no small measure contributes to increased runoff and water erosion, since in springtime, rapid melting of snow and thus stronger erosion activity occurs on these sites. The last observed period is mainly characterized by a steep increase in spring temperatures. The Halčianske catchment reservoir is a large reservoir with a total surface of 9,126,912.5 m<sup>2</sup>. The territory is mostly covered with forests, which span over almost 73% of the total area. The area is missing shrub coppice and hosts a sizable network of unpaved forest roads and outgoing forest communications. Construction of such roads, which is not respecting conservation rules in combination with episodic torrential rain represents a negative environmental prospect.

The Halčianska reservoir is part of a historic water management system, which, together with the city of Banská Štiavnica, is listed by UNESCO as part of the World Cultural and Natural Heritage under no. 400 “Banská Štiavnica and technical monuments in its surroundings”. It is an important technical monument, which documents the maturity of hydraulic engineering in the past. The closest comparable water management system is located in the German Harz, and Freiberg, Saxony, Germany. After the abandonment of local mines, it lost its original purpose, which was to provide water for the mining industry. Currently, it is intensively used for large scale fish farming and recreation and completes the overall character of the surrounding landscape.

Since the mentioned reservoirs, including Halčianska, are virtually the only source of surface water in the Banská Štiavnica region, it is important to constantly monitor their status and ongoing changes. What is truly required, however, is a comprehensive understanding of the functioning of micro river basins and its associated processes. In this manner, it is possible to not only identify the areas affected by erosion, but also to propose appropriate management measures to maintain or improve their state.

Fig. 1 – Location of the Halčianska water reservoir in Slovakia.

Fig. 2 – Course of the Halčiansky stream. X axis – length (m), Y axis – elevation (m a.s.l.)

Fig. 3 – Bottom relief detail of the Halčianska water reservoir – situation in 1908.

Fig. 4 – Bottom relief detail of the Halčianska water reservoir – situation in 2010.

Fig. 5 – Halčianska water reservoir – situation in 1908.

Fig. 6 – Model of the surrounding area of the Halčianska water reservoir – situation in 2010.

Fig. 7 – Erosion. 1 – aerial photo Eurosence 2006, 2 – water surface, 3 – stream, 4 – road, 5 – basin, 6 – surface erosion, 7 – riparian erosion, 8 – line erosion.

Fig. 8 – Current landscape structure. 1 – *Alnus glutinosa*, 2 – *Salix alba* – sapling, 3 – *Salix alba*, 4 – Human-Altered area, 5 – buildings, 6 – water surface – 2010, 7 – aerial photo Eurosence, 8 – roads, 9 – water surface – 1908.

*Pracovišťa autorů: K. Weis: Univerzita Mateja Bela, Fakulta prírodných vied, katedra geografie, geológie a krajinej ekológie, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, e-mail: karol.weis@umb.sk. D. Kubinský: Univerzita Mateja Bela, Fakulta prírodných vied, katedra biológie a ekológie, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, e-mail: posta@dkubinsky.sk.*

*Do redakce došlo 10. 8. 2013; do tisku bylo přijato 26. 4. 2014.*

**Citační vzor:**

WEIS, K., KUBINSKÝ, D. (2014): Analýza zmien objemu Halčianskej vodnej nádrže vplyvom erózie ako podklad pre manažment v povodí. *Geografie*, 119, č. 2, s. 126–144.